Estimación del Error en un Medidor de Turbina con Insuficientes Tramos Rectos

Josefina Ortiz Medel, Francisco Ramírez Navarro*, Francisco Martínez González* y Edmundo Pedroza González***

RESUMEN

En pozos agrícolas, frecuentemente se presenta el caso de trenes de descarga con insuficientes tramos rectos para cumplir las especificaciones de instalación de medidores de flujo. Los fabricantes no conocen la variación del error de medición en que se incurre si los medidores se colocan bajo condiciones de insuficientes tramos rectos. Hanson (1998) encontró que un medidor de propela presenta un error de 3,5 % si se coloca con dos diámetros aguas abajo de un codo de 90°. Para conocer el desempeño de un medidor de turbina con poco tramo recto, tanto aguas arriba como aguas abajo (condiciones no consideradas por Hanson) se realizaron pruebas en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Guanajuato. Se compararon las lecturas del medidor contra las de un tanque volumétrico, colocando el medidor en diferentes posiciones y con varios gastos. Los resultados indican que el medidor probado no tiene grandes errores cuando está mal colocado, pero si presenta su mejor comportamiento cuando se coloca como lo indica el fabricante.

ABSTRACT

In agricultural pumping plants flowmeters are frequently installed with insufficient straight sections of pipe both upstream and downstream from the meter, in order to meet the established installation specifications. It has been found that flowmeter manufacturers do not know the error rate in flow measurements under these no optimal conditions. In 1998, Hanson found that a propeller flowmeter had an error of 3,5 % when it was installed in a position a distance of two pipe diameters downstream from an elbow. This project investigated the performance of a turbine flowmeter under no optimal upstream and downstream conditions (conditions not considered by Hanson). Experiments were carried out in the Hydraulic Laboratory of the University of Guanajuato. Measurements were made in different flowmeter positions considering different flow rates. Results from this project showed that the flowmeter does not have a large error, even if it is installed in an incorrect position. However, lowest error rate is obtained when it was installed in the position recommended by the manufacturer.

Recibido: 12 de Septiembre 2005
Aceptado: 8 de Noviembre de 2005

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con los fabricantes, todos los medidores de flujo requieren un tramo recto aguas arriba y aguas abajo de su ubicación. Lo anterior debido a la necesidad de que el flujo llegue sin turbulencia mayor que afecte el funcionamiento del medidor, y de esta manera, la magnitud del error nominal se mantenga. Por ejemplo, la mayoría de los medidores que se venden en México, requieren un tramo recto antes del medidor, en el sentido del flujo, de cinco veces el diámetro del tubo donde está colocado, y otro tramo recto después, de tres veces el mismo diámetro. Existen otros que requieren de hasta diez tramos antes y cinco después.

Cuando se hacen pruebas a los medidores para conocer el error de medición, se colocan en un tubo con mayores tramos rectos que los requeridos por el fabricante, y si el medidor es de buena calidad, presenta errores menores al nominal (2 % para medidores de propela y turbina). Sin embargo, en diversos proyectos de colocación de medidores en pozos agrícolas, se ha observado que se tienen fuertes restricciones en las condiciones físicas de los trenes de descarga para cumplir con los tramos rectos requeridos. De esta manera se presenta la incertidumbre de no conocer la magnitud del error de medición del dispositivo ya colocado, cuando no se pueden respetar los tramos rectos requeridos.

Palabras clave:
Medidor de gasto; Insuficientes tramos rectos.

Keywords:
Flowmeter; Insufficient straight sections of pipe.

* Universidad de Guanajuato. Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ingeniería en Geomática e Hidráulica. San Luisito s/n, Guanajuato, Gto. México. Correos electrónicos: jomedel@quijote.ugto.mx; ramirez239@hotmail.com; fmarti@quijote.ugto.mx.

** Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Correo electrónico: epedroza@tlaloc.imta.mx



Ante esta situación, se ha preguntado a los fabricantes si los medidores tienen alguna tolerancia a la colocación de medidores sin cumplir los tramos rectos; y de ser así, en qué magnitud de error se incurriría en función del grado de incumplimiento de las longitudes rectas. Estas preguntas no han sido contestadas en ningún caso.

ANTECEDENTES

Hanson (1998), indica que la recomendación de tramos rectos es de 8 a 10 diámetros antes del medidor y de dos diámetros después. Así mismo señala que es difícil determinar el origen de esta recomendación, pero se menciona en 1935 en un trabajo sobre el coeficiente de descarga de placas de orificio.

Se ha hecho un trabajo limitado sobre el uso de medidores de flujo en tuberías en el sector agrícola. Se ha investigado el uso de los medidores venturi (Replogle 1992; Replogle y Wahlin, 1994). Trimmer y Taylor (1990) evaluaron siete medidores de flujo ultrasónicos de efecto doppler de cuatro tipos y observaron que sólo uno de los medidores mantuvo una aproximación de ± 3 %.

Se ha realizado un trabajo más extensivo en el sector industrial para evaluar el desempeño de los medidores de flujo. Aunque mucho de este trabajo se ha hecho con medidores de placa orificio y tubos de pitot; éstos últimos raramente usados en sector agrícola.

En una evaluación sobre el uso de medidores de turbina, Bake (1993) coincidió con la norma 2534-1971 ANSI/API (American National Standards Institute/American Petroleum Institute), según la cual se requiere una longitud 5 diámetros aguas arriba del medidor para proporcionar una efectiva orientación de las trayectorias del flujo bajo condiciones normales.

De acuerdo con Laws y Ouazann (1994), se requiere un tramo recto de aproximadamente 10 diámetros de longitud aguas arriba de los medidores diferenciales (placa orificio, medidor venturi, tubo de pitot).

Hanson y Schwankl (1998), realizaron una extensa y excelente investigación para determinar el error de medición en diferentes tipos de medidores colocados bajo diferentes condiciones no óptimas causadas por varios accesorios que perturban el flujo. Encontraron que los medidores más afectados por la turbulencia son los que miden la velocidad puntualmente. Por el contrario los menos afectados son los que de alguna manera promedian la medición de la velocidad. Para los medidores de tipo propela, Hanson y Schwankl detectaron que los tramos rectos insuficientes le afectan poco cuando el accesorio aguas arriba es un codo de 90º. En tal estudio no se consideraron medidores de turbina debido a que no se usaban frecuentemente en agricultura y no se consideró para las pruebas el tramo recto aguas abajo del medidor.

Con la finalidad de completar los resultados ya encontrados por Hanson, se realizaron pruebas en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Guanajuato, utilizando un medidor de turbina marca Badger meter de 4” de diámetro, con el fin de analizar el error que se tiene en la medición ante el aumento o disminución gradual de tramos rectos requeridos tanto aguas arriba como aguas abajo del cuerpo del medidor, bajo condiciones no óptimas causadas por la presencia de dos codos de 90º (colocados aguas arriba y aguas abajo del medidor respectivamente). Se eligió este tipo de medidor debido a que ha empezado a ser utilizado en la agricultura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del módulo experimental

En el diseño del módulo experimental se conservó la instalación existente en el Laboratorio de Hidráulica. De tal manera que fue necesario únicamente incluir el tramo de pruebas (ver Figura 1).

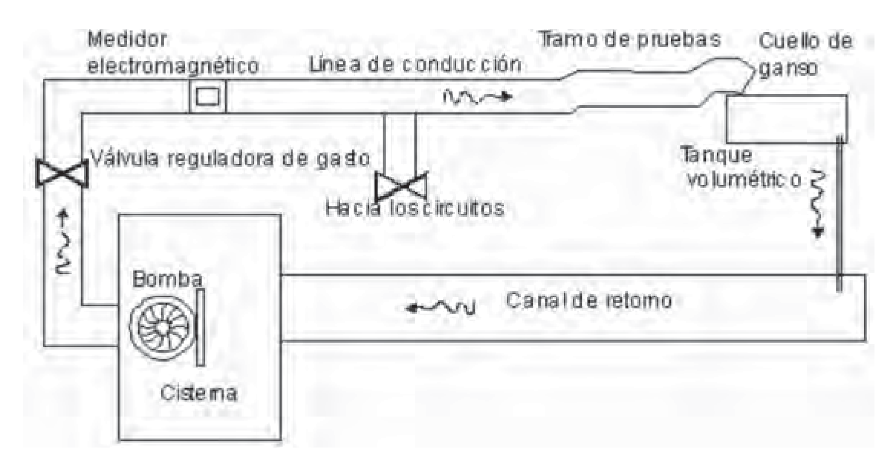


Figura 1. Esquema del módulo experimental.

El módulo experimental está integrado por el sistema de alimentación, la línea de conducción, el tramo de pruebas y el tanque volumétrico (Figura 1).

El sistema de alimentación consta de los siguientes elementos:

a) Una cisterna con capacidad de 100 m^3.

b) Una bomba centrífuga con succión de 5” de diámetro, descarga de 4” de diámetro y motor de 15 HP.

c) Un canal de retorno de 60 cm de ancho y 40 cm de profundidad.

La línea de conducción consiste en una tubería de fierro galvanizado de 4” de diámetro y 34,5 m de longitud. Su función es abastecer de agua tanto a los circuitos de la red experimental de agua potable (elementos no utilizados en el desarrollo de este proyecto) como al tramo de pruebas. En la tubería de conducción se encuentra instalada una válvula reguladora de gasto y un medidor electromagnético. El tramo de pruebas es de 4” de diámetro. Está delimitado por dos codos de 90º, considerados como obstáculos aguas arriba y aguas abajo del medidor de turbina, respectivamente. Esta característica de los codos como obstáculos se justifica en el hecho de que en dicho tramo de pruebas se coloca el medidor en diferentes posiciones como se indica más adelante.

El tanque volumétrico es de concreto armado y sección rectangular. Tiene una capacidad de 26 m^3 y está provisto de una escala graduada que permite conocer el ascenso en el nivel del mismo. El tanque volumétrico es utilizado como medidor de referencia. El tramo de pruebas y el tanque volumétrico se conectan entre sí mediante un cuello de ganso, cuya función es asegurar el flujo a tubo lleno en el tramo de pruebas y un buen funcionamiento en el medidor evaluado.

Adecuación y puesta en marcha del módulo experimental

Cumpliendo con las anteriores consideraciones de diseño, se adecuó el módulo experimental mediante el montaje de las piezas que componen el tramo de pruebas. (Figuras 2 y 3).

La adecuación del módulo experimental incluyó también el reemplazo del equipo de bombeo, componente que presentaba problemas en su operación. Por lo anterior, se adquirió e instaló una bomba marca CUMA modelo K4H con succión de 5”de diámetro, descarga de 4” de diámetro y motor de 15 HP, y su respectivo arrancador (Figura 4).

Una vez terminadas las adecuaciones del módulo experimental, se llevó a cabo la puesta en marcha mediante la realización de pruebas de operación del equipo de bombeo y pruebas de hermeticidad en los accesorios.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Longitud del tramo de pruebas

La longitud del tramo de pruebas estuvo dada por la siguiente ecuación:

$$LT = (A+B)D+L \quad (1)$$

Donde:

LT Longitud del tramo de pruebas [*L*].

A Número de diámetros de tramo recto aguas arriba del medidor.

B Número de diámetros de tramo recto aguas abajo del medidor.

D Diámetro del tubo [*L*].

L Longitud del carrete del medidor [*L*].

Con $A = 5$, $B = 3$, $D = 4”$ y $L = 10”$ la longitud del tramo de pruebas resultó ser de 42 pulgadas:

$$LT = (5+3)4” + 10” = 42”$$

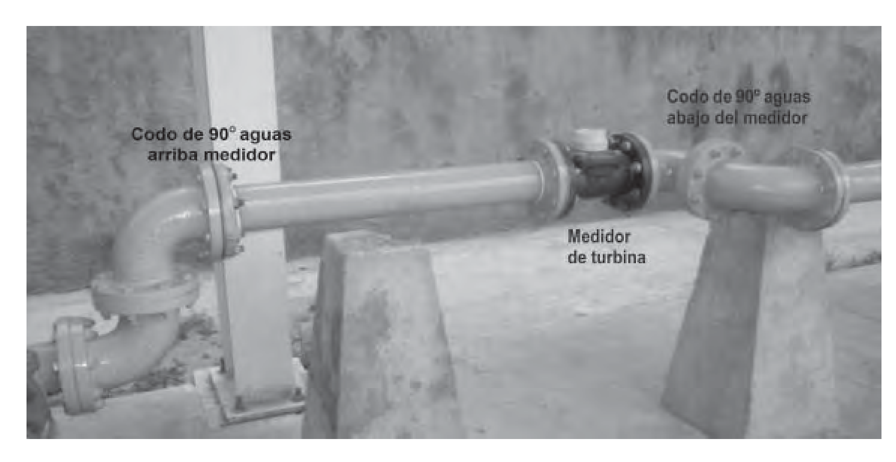


Figura 2. Vista del tramo de pruebas.





Figura 3. Vista general del tramo de pruebas, cuello de ganso y tanque volumétrico.

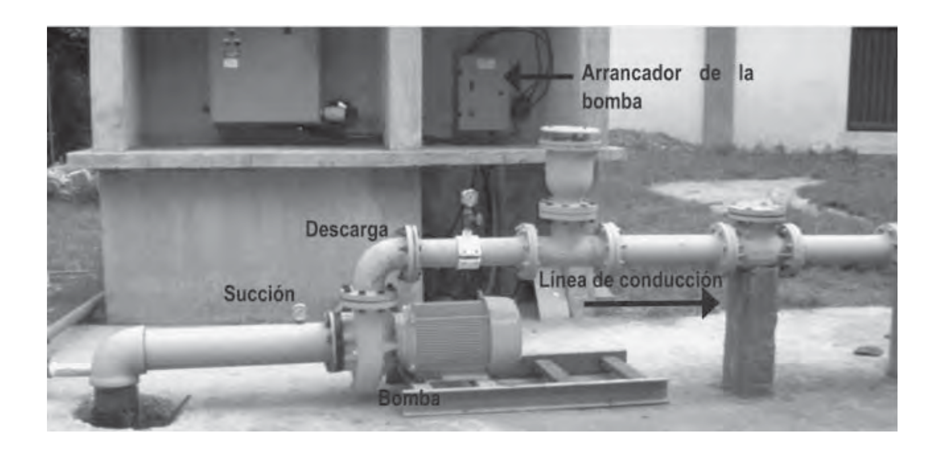


Figura 4. Vista general del equipo de bombeo.

Sitio de colocación del medidor

Los experimentos se diseñaron haciendo variar la colocación del medidor de turbina en el tramo de pruebas. Se principió colocando inicialmente el medidor junto al obstáculo aguas arriba (Figura 5) y se terminó con el medidor colocado junto al obstáculo aguas abajo (Figura 6). En la Tabla 1, se presenta la colocación del medidor para cada experimento.

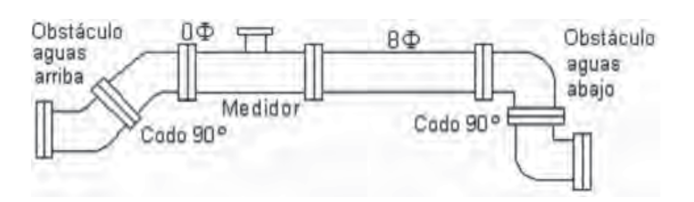


Figura 5. Condición inicial, cero diámetros aguas arriba y ocho diámetros aguas abajo del medidor.

Selección de medidores

Los medidores seleccionados para el desarrollo fueron un medidor de turbina marca Badger meter de 4" de diámetro como medidor a verificar y el tanque volumétrico como medidor verificador o de referencia (Figura 7).

Para la realización de los experimentos programados se requirió contar con varios carretes y sus correspondientes bridas. De acuerdo con la Tabla 1, se necesitaron los siguientes carretes (Tabla 2).

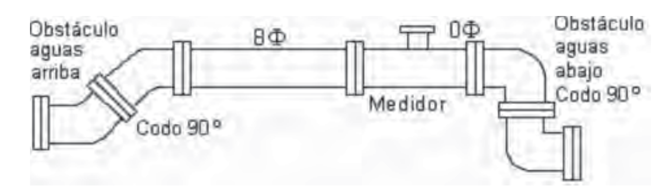


Figura 6. Condición final, ocho diámetros aguas arriba y cero diámetros aguas abajo del medidor.

Medidor a verificar
Medidor de Turbina
marca Badger meter 4”







Figura 7. Medidores seleccio-

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevaron a cabo los 9 experimentos programados en la Tabla 1. Se establecieron 4 diferentes gastos en cada uno (entre 9 y 25 l/s), resultando 4 pruebas en cada experimento y 36 pruebas en total. Las pruebas se realizaron de la siguiente manera: el medidor de turbina no presenta el gasto, solamente presenta el volumen, por lo tanto, se midió el tiempo en que circulaban 2 m^3 por el medidor. Simultáneamente se midió el tiempo que tardaban en alcanzarse 2 m^3 en el tanque volumétrico. Este procedimiento se repitió 22 veces en cada una de las pruebas, obteniéndose 22 lecturas en cada prueba. Con el volumen y el tiempo de cada lectura se calculó el gasto registrado por cada medidor. Posteriormente se obtuvo el gasto promedio de las 22 lecturas para cada prueba y cada medidor.

Cálculo del porcentaje de error

A partir de los gastos promedio, se calculó el porcentaje de error con la siguiente ecuación:

$$E = 100(M-T)/T \qquad (2)$$

Donde:

E Error (%)

M Gasto promedio en el medidor de turbina, en l/s.

T Gasto promedio en el tanque volumétrico, en l/s.

En la Figura 8 y la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos en los diferentes experimentos. Como puede apreciarse, el error máximo (3,6 %) se presentó en la prueba número 1 con cero diámetros aguas arriba y 8 diámetros aguas abajo con un gasto de 9,074 l/s. Se observó que el error del medidor disminuye a medida que éste se aleja del obstáculo aguas arriba, y se aproxima a la posición sugerida por los fabricantes y establecida también en la Norma Oficial Mexicana (NOM-012-SCFI-1994) que corresponde a la prueba número 6 con 5 diámetros aguas arriba y 3 diámetros aguas abajo, donde los errores del medidor fueron más bajos. También se observó que a partir de la prueba 7, a medida que el medidor se va acercando al obstáculo aguas abajo, el error va aumentando, sin embargo, todos los errores en estas pruebas se mantienen por debajo del error máximo observado en la posición más crítica que corresponden a la prueba número 1.

Tabla 1.
Colocación del medidor de turbina para cada experimento.

Número del experimento	Número de diámetros del tramo aguas arriba del medidor	Número de diámetros del tramo aguas abajo del medidor
1	0	8
2	1	7
3	2	6
4	3	5
5	4	4
6	5	3
7	6	2
8	7	1
9	8	0

Tabla 2.
Número y longitudes de los carretes.

Número de carrete	Longitud (número de diámetros)
1	8
2	7
3	6
4	5
5	4
6	3
7	2
8	1

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de las pruebas señalan que el medidor presenta los menores errores, cuando está colocado en la posición de tramos rectos especificados en la NOM-012-SCFI-1994; es decir, de 5 diámetros aguas arriba y tres aguas abajo, esto para todos los valores de gasto utilizados. Con esto, se infiere que lo que pretende



la NOM-012-SCFI-1994, es el asegurar que exista una medición que garantice un máximo de eficiencia, y por esta razón todas las instalaciones que no tengan la longitud suficiente de tramos rectos están fuera de esta norma.

El error esperado si no se cumple con lo especificado en la norma, será generalmente de signo negativo y con un valor superior a la tolerancia que se establece en la misma. Como consecuencia de esto, existirá un déficit en el reporte de los volúmenes de extracción en pozos agrícolas.

Se recomienda continuar realizando experimentos con diferentes medidores a fin de comparar los

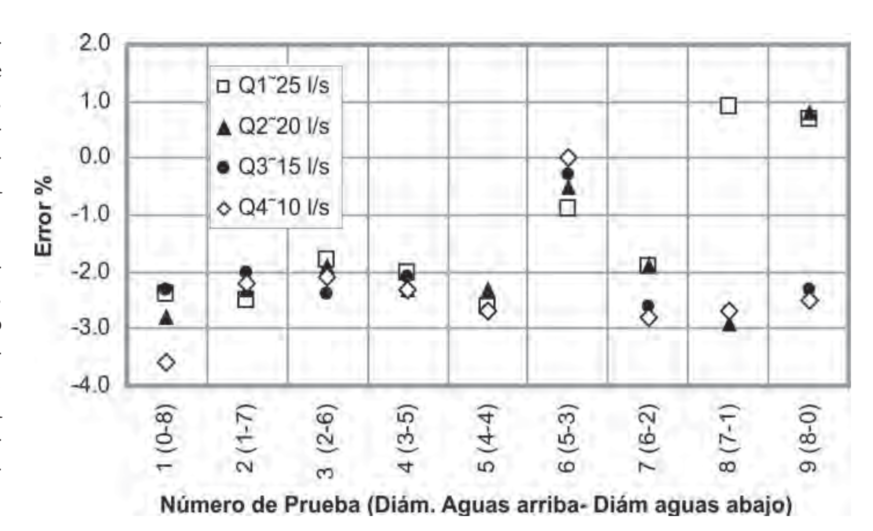


Figura 8. Gráfica de resultados de las pruebas.

Tabla 3.
Resultados generales de las pruebas.

Experimento número	Diámetros		Gasto (l/s)		Error (%)
	Aguas arriba	Aguas abajo	Medidor de turbina	Tanque	
1	0	8	24.849	25.472	-2.4
			20.369	20.963	-2.8
			13.867	14.192	-2.3
			9.074	9.417	-3.6
2	1	7	24.948	25.576	-2.5
			20.520	21.008	-2.3
			14.359	14.654	-2.0
			9.967	10.196	-2.2
3	2	6	24.812	25.256	-1.8
			20.550	20.956	-1.9
			14.057	14.396	-2.4
			9.514	9.716	-2.1
4	3	5	24.840	25.336	-2.0
			20.383	20.856	-2.3
			14.123	14.431	-2.1
			9.647	9.875	-2.3
5	4	4	24.474	25.134	-2.6
			20.871	21.360	-2.3
			14.564	14.968	-2.7
			9.593	9.858	-2.7
6	5	3	24.420	24.651	-0.9
			20.987	20.888	0.5
			14.365	14.411	-0.3
			11.211	11.212	0.0
7	6	2	24.612	25.091	-1.9
			20.889	21.298	-1.9
			14.945	15.343	-2.6
			9.243	9.512	-2.8
8	7	1	25.698	25.459	0.9
			20.395	20.997	-2.9
			14.107	14.495	-2.7
			9.792	10.068	-2.7
9	8	0	25.592	25.405	0.7
			21.026	20.870	0.8
			14.073	14.405	-2.3
			9.683	9.933	-2.5

resultados con los obtenidos en este trabajo. Esto es muy importante ya que los resultados de este proyecto pueden ser mal interpretados, en el sentido que valen para todos los casos y todos los medidores, y esto sólo es cierto para el caso del medidor verificado en este proyecto.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Guanajuato y al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, su apoyo en la realización de este trabajo. A Aldo Iván Martínez Llanos por su participación durante la etapa experimental.

REFERENCIAS

Baker, R. C. (1993). Turbine Flowmeter. Theoretical and experimental published information. Flow *Meas. Instrument.* 4(3) , 123-144

Enríquez Z. S. y Pedroza G. E. (2001). *Medidores para pozos.* México. Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec, Morelos.

Hanson, B. R. y Schwank, L.J. (1998). Error analysis of flowmeter measurements, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* Vol. 124, No. 5, September/October, ASCE, 248-255.

Laws, E. M., and Ouazanne, A. K. (1994). *Compact installations for differential flowmeters.* 5(2), 79-85.

Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCFI-1994, Mediciones de Flujo de Agua en Conductos Cerrados de Sistemas Hidráulicos -Medidores para Agua Potable Fría- Especificaciones, México.

Pedroza, E. (1999). *Manual Técnico, Medidores para Agua.* México. Comisión Nacional del Agua.

Pedroza, E. (2001). P*ropuesta tecnológica para mejorar la medición en pozos agrícolas.* Coordinación de Tecnología Hidráulica, Subcoordinación de Hidráulica Rural y Urbana, México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Peña, E. y Hernández F. (1992). *Manual de Aforos.* México. Comisión Nacional del Agua.

Replogle, J. A. (1992). *Irrigation Flowmeters Revisited: Amodern Look.* ASAE Int. Summer Mtg. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mich., Paper No. 922027.

Replogle, J. A., and Wahlin, B. (1994). Venturi meter construction for plastic irrigation pipelines. *Applied Engineering in Agriculture* 10(1), 21-26.

Trimmer, W. L., and Taylor, A. (1990). Ultrasonic Doppler Flow meter performance. *Applied Engineering in Agriculture.* 6(5), 585-591.